

トランポリン運動による呼吸循環反応と呼吸機能に及ぼす即時的影響

吉村 歩

本研究の目的は、トランポリン運動時における呼吸循環反応および呼吸機能への影響を明らかにすることである。健常者 20 名を対象に、まず、トランポリン運動を 5 分間実施し、運動中の酸素摂取量、心拍数、呼吸数、分時換気量を測定した。また、同運動として 10 回の跳躍時の呼気流速を測定した。結果、同運動中の酸素摂取量、心拍数、呼吸数、分時換気量はいずれも定常状態を示した。運動強度は 5.1METs、本研究対象者の年代に相当する 18~39 歳の VO₂ max の約 50% であった。また、同運動時の呼気流速はピークフローの 43%、咳嗽時のピークフローの 48% であった。以上の結果より、トランポリン運動は有酸素運動の手段として適用できるとともに、排痰の補助になり得る可能性が示唆された。

はじめに

本邦では、高齢化に伴って呼吸器および循環器疾患の罹患率が上昇しており、理学療法の対象患者としても増加している。こうした内部障害患者に対する運動療法のエビデンスは確立しているが¹⁾、虚弱な高齢者の増加に伴い、運動様式や種類の選択の重要性が高まる中、臨床現場でもしばしば課題となることが少なくない。

安全で効果的な運動様式の選択として昨今、トランポリン運動が注目されている²⁾。同運動は、トランポリンの弾力性を利用して跳躍を行うことが特徴で、下肢への負担は比較的軽度であり、楽しみながら行えるというメリットがある。

トランポリン運動の効果に関して検討された研究報告は限られているが、高齢女性を対象とした研究²⁾では、下肢筋力や歩行能力、バランス能力の改善が得られたとしている。また、脳卒中患者に対する 6 週間のトランポリンによるトレーニングが、バランス、歩行、転倒自己効力感を改善したとする報告³⁾や、慢性閉塞性肺疾患の症例に対して、トランポリン運動が呼吸および身体運動機能に良好な影響を及ぼしたといった報告⁴⁾が散見される。しかしながら、トランポリン運動の効果に関わる機序として、同運動による負荷強度や酸素摂取量(以下 VO₂)、心拍数など呼吸循環反応については不明である。

一方、トランポリン運動は喀痰量が多い呼吸器疾患患者の気道クリアランス(排痰)法の一助として用いられることもある⁵⁾。Kriemler ら⁶⁾は、嚢胞性線維症患者に対して気道クリアランス法にトランポリン運動を併用することで喀痰量の有意な増加を認めたとしている。また、大島ら⁷⁾は標準的な呼吸リハビリテーションで改善が困難であった肺切除術後の無気肺・排痰困難合併例に対してトランポリン運動を実施した結果、速やかな無気肺の改善が得られたとしている。しかしながら、これらの報告では、その効果の機序や呼吸機能、特に排痰に作用する呼気流速への影響は明らかにされていない。

以上より本研究では、健常者を対象に、トランポリン運動における呼吸循環反応(酸素摂取動態、負荷強度)および、呼吸機能(呼気流速)への影響の 2 点を明らかにすることを目的とした。これらが明らかになることで、理学療法現場におけるトランポリン運動の適応や実施など、対象者への運動指導の一助となり得ることが期待できる。

対象

本研究の趣旨と内容を理解し、参加への同意が得られた健常者 20 名(男性、女性それぞれ 10 名)を対象とした。除外基準は呼吸器疾患や循環器疾患の既往、喫煙歴(過去・現喫煙)、研究

参加日の前日に行った身体活動に起因する倦怠感や疲労感、筋痛が残存する場合、測定1週間以内の上気道炎罹患の既往がある者とし、気管支喘息の既往に関しては1年以内に症状のある者とした。対象者には、本研究の目的および手順、内容、リスクについて口頭および文書で十分に説明し、書面にて同意を得た上で研究を実施した。なお本研究は、長崎大学大学院医歯薬学総合研究科倫理委員会の承認を得て実施した(許可番号 25041002-2)。

方法

1. 測定内容、手順とプロトコル

まず、検討1として、トランポリン運動時の呼吸循環反応を測定した。プロトコルは安静座位2分ののち、トランポリン運動5分、終了後の回復観察3分とし、その間は呼気ガス分析装置(ミナト医科学社製エアロモニタ AE-300S)にて VO_2 、換気諸量を測定するとともに、運動終了直後に修正 Borg スケールを用いて、呼吸困難と下肢疲労を聴取した。トランポリン運動は1分間に100~120回のテンポで垂直に跳躍するよう指示した。

次に検討2として、トランポリン運動時の呼吸機能を測定した。スパイロメータを使用し努力性肺活量(forced vital capacity, 以下 FVC)測定モードにて、対象者はマウスピースを咥えた状態で、10回の跳躍を行った。その際、深呼吸はさせずに自然な呼吸で、上昇時に吸気、下降時に呼気をするよう指示し、呼気流速の最大値を測定した。

なお、使用したトランポリンは市販のスプリング式家庭用タイプであり、手すりは非使用とした。ただし、対象者がバランスを崩した際には直ちに手すりを支持するよう指示した。

2. 測定項目

長崎大学医学部保健学科内部障害系理学療法学研究室にて、対象者には研究説明書を用いて測定内容と方法の十分なオリエンテーションを行った。その後、以下の項目を評価した。

1) 事前調査

身長、体重、バイタルサイン、握力、呼吸機能[FVC、ピークフロー(peak expiratory flow rate, 以下 PEFR)、咳嗽時のピークフロー(cough peak

flow, 以下 CPF)]。

2) トランポリン運動時の呼吸循環反応

VO_2 、心拍数、呼吸数、分時換気量、自覚症状(呼吸困難、下肢疲労)。

3) トランポリン運動時の呼吸機能

呼気流速。

3. 解析方法

各評価項目は平均値±標準偏差にて表示した。また、 VO_2 、心拍数、呼吸数、分時換気量の推移を安静時、運動時、回復時の時間経過に従って同様に示した。運動強度(METs)の算出にあたっては運動時最終1分間の VO_2 の平均値を用いるとともに、年代別の最大酸素摂取量(以下 $VO_2 \text{ max}$)⁸⁾の割合で示した。また、呼気流速については実測値とともに、事前調査で測定した PEFR、CPF に対する割合も算出した。

結果

1. 対象者背景

全対象者20名がすべての測定を完遂することができ、解析対象となった。測定に伴う気分不良や転倒などの有害事象も皆無であった。全対象者ならびに男性と女性それぞれ10名ずつの対象者背景を表1に示す。

2. トランポリン運動時の呼吸循環反応

トランポリン運動時の VO_2 および心拍数、呼吸数、分時換気量の30秒毎の推移を図1に示す。いずれも定常状態を示し、運動終了とともに緩やかに低下、運動開始前の状態に回復した。運動終了直後に修正 Borg スケールを用いて聴取した全対象者の自覚症状は、呼吸困難が 3 ± 0.9 、下肢疲労は 3.5 ± 1.8 であった。

3. トランポリン運動時の呼吸機能

全対象者ならびに男性と女性それぞれ10名ずつのトランポリン運動中の呼気流速の結果を表2に示す。PEFRを100%と基準にした際の全対象者の呼気流速は43%であった。また、CPFを100%と基準にした際の全対象者の呼気流速は48%を示した。

表 1 対象者背景

	全体 (n=20)	男性 (n=10)	女性 (n=10)
年齢 (歳)	22 ± 1	22 ± 1	22 ± 1
身長 (cm)	166 ± 9	173 ± 5	159 ± 6
体重 (kg)	59 ± 10	66 ± 7	51 ± 7
BMI (kg/m ²)	21 ± 2	22 ± 1	20 ± 2
握力 (kg)	36 ± 10	45 ± 6	28 ± 4
FVC (L)	4.0 ± 0.9	4.6 ± 0.7	3.3 ± 0.5
PEFR (L/min)	432 ± 126	521 ± 100	343 ± 76
CPF (L/min)	378 ± 113	445 ± 116	312 ± 59

平均値 ± 標準偏差, BMI=body mass index; CPF=cough peak flow (咳嗽時のピークフロー); FVC=forced vital capacity (努力性肺活量); PEFR=peak expiratory flow rate (ピークフロー)

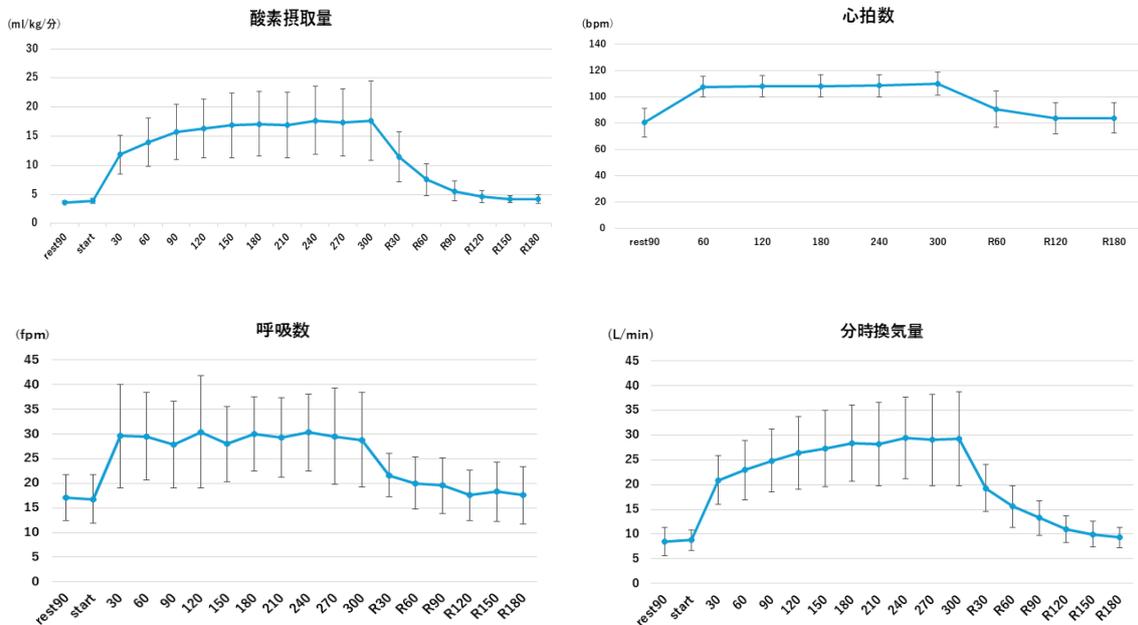


図 1 トランポリン運動時の呼吸循環反応の推移

各グラフは安静時 90 秒間 (Rest), 運動開始 (start) を経て 5 分間 (300 秒) の運動, 3 分間 (180 秒) の回復 (R) までの経時的変化を示している。

表 2 トランポリン運動中の呼気流速

	全体 (n=20)	男性 (n=10)	女性 (n=10)
呼気流速 (L/min)	192 ± 132	261 ± 159	123 ± 29

平均値 ± 標準偏差

考察

本研究では健常者を対象に、トランポリン運動時の呼吸循環反応と呼吸機能への影響を検討した。以下、これらの結果について考察する。

まず、トランポリン運動中の VO_2 、心拍数、呼吸数、分時換気量は定常状態を示した。運動強度は、本研究対象者の年代に相当する 18~39 歳の VO_{2max} (男性 39ml/kg/min, 女性 33ml/kg/min)⁸⁾ の約 50% であった。このことから、トランポリン運動は低強度から中等度の有酸素運動に相当することが明らかになった。また、 VO_2 から METs を算出した結果、トランポリン運動は対象者全体で 5.1 METs であることが分かった。5METs は自転車エルゴメーターで「楽からほどほどの労力」、歩行は運動目的で「5.8~7.1km/h」に相当する⁹⁾ ことが判明し、トランポリンによる運動療法実施の際の参考になると考えた。

次に、呼気流速への影響について考察する。山川ら¹⁰⁾ が示した自己排痰の可否の基準となる CPF は 240L/min であり、それと比較すると、男性 (261L/min) ではトランポリン運動によってこの基準を上回る呼気流速が生じていることが分かった。結果で示した通り、トランポリン運動による呼気流速は PEFR の 43%、CPF の 48% に相当し、安静呼吸であっても、トランポリン運動は呼気流速を高めることに有益である可能性が示唆された。この機序として、トランポリン運動によって、腹腔内圧が急激に上昇し、それによって横隔膜が押し上げられ、受動的な呼気が促進された⁷⁾ ののではないかと推察した。また、大島ら⁷⁾ はトランポリン運動時の呼気流量の波形が咳嗽時の波形に類似していることを示している。このことから、トランポリン運動は排痰に必要な呼気流速を促し、その補助として活用できるのではないかと考えた。

本研究の限界として、今回は若年健常者を対象とした研究であるため、この結果を他の年代、特に高齢者に当てはめることは困難である。また、跳躍の高さが腹腔内圧の変化に関係することも考えられ、呼気流速の結果のばらつきに影響を与えた可能性がある。さらに、今回使用したトランポリンの面積が小さく、対象者には同じ場所を跳躍することを意識する必要が生じた可能性もあり、跳躍動作に影響を与えたことも否定できない。

今後の展望として、トランポリン運動では安全対策としてしばしば手すりが使用されるため、その有無での同様の比較を行うことや、高齢者を含めた幅広い年齢層を対象とした検討も必要であると考えた。

まとめ

本研究では、健常者を対象にトランポリン運動時の呼吸循環反応と呼吸機能への影響を検討した。その結果、トランポリン運動中の VO_2 、心拍数、呼吸数、分時換気量は定常状態を示し、運動の負荷強度は 5.1 METs であった。また、同運動時の呼気流速は PEFR の 43% で、CPF の 48% に相当した。これらの結果より、トランポリン運動は有酸素運動の手段として適用できるとともに、排痰の補助になり得る可能性が示唆された。

謝辞

本研究を進めるにあたり、研究の実施にご協力いただいた対象者の皆様、ご助言を賜りました内部障害リハビリテーション学研究室の方々には厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 古川順光, 田屋雅信: 内部障害に対する運動療法: 基礎から臨床実践まで. メジカルビュー社, 東京, 2018.
- 2) 林田はるみ, 佐藤理緒, 他: 高齢女性を対象としたトランポリン運動により下肢運動機能の変化. 日本スポーツリハビリテーション学会誌. 2022; 11: 1-7.
- 3) Hahn J, Shin S, et al. The effect of modified trampoline training on balance, gait, and falls efficacy of stroke patients. J Phys Sci. 2015; 27: 3351-3354.
- 4) 鳥井 亮, 山口雄大, 他: ケア・トランポリンによる音楽療法で身体活動性と呼吸機能が改善した COPD 症例. 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会. 2021; 3: 273-276.
- 5) Main E, Denehy L, et al eds.: Cardiorespiratory Physiotherapy: Adults and

- Paediatrics, 5th Edition, Elsevier, 2016, pp254-255.
- 6) Kriemler S, Radtke T, et al. Short-Term Effect of Different Physical Exercise and Physiotherapy Combination on Sputum Expectoration, Oxygen Saturation, and Lung Function in Young Patients with Cystic Fibrosis. *Lung*. 2016; 194: 659-664.
- 7) 大島洋平, 森 裕樹, 他: 無気肺・排痰困難症例に対するトランポリン運動の効果. *日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌*. 2019; 29: 480-483.
- 8) 厚生労働省ホームページ: 健康づくりのための身体活動基準 2013. <https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520002xple-att/2r9852000002xpqt.pdf> (2025年11月28日引用)
- 9) 中江悟司, 吉村英一, 他: 改訂第2版「身体活動のメッツ (METs) 表」成人版. https://www.nibn.go.jp/activities/documents/2024Compendium_table_adult_ver1_1_5.pdf (2025年11月28日引用)
- 10) 山川理恵, 横山仁志, 他: 排痰能力を判別する cough peak flow の水準: 中高齢者における検討. *人工呼吸*. 2010; 27: 260-266.
- (指導教員 神津 玲)